

ÁGUA E TERRITÓRIO

UM TRIBUTO A
CATARINA RAMOS



CEG

Centro de Estudos Geográficos

AS CHEIAS NA CONSTRUÇÃO E EVOLUÇÃO DA LEZÍRIA DO TEJO:

SÍNTESE DE DOIS PROJETOS

Teresa Mira de Azevêdo¹

Ana Ramos-Pereira²

Elisabete Nunes³

Abstract

This article presents a summary of the final results of two projects funded by the Foundation for Science and Technology (FCT) in the field of fluvial dynamics, specifically, the floods of the greatest Portuguese rivers and the results of which are scattered in chapters of books, articles, abstracts, conferences or have never been disclosed as a whole: IDAFRE (An Interdisciplinary Approach to Flood Risk Evaluation - Hydrology, Geomorphology and Sedimentology of the Douro, Tagus and Sado Basins) (1997-2001) and GEOTARIF (Geology and Archaeology of the Tagus Floodplain Over Time) (2002-2006), where the Tagus river was mainly studied.

The methods used can be divided into three categories: 1) data research in libraries, periodical archives, topographic and geological maps, history books, newspapers and magazines and old and recent bibliography, reconstruction of the history of the Tagus through the various sources consulted, with special relevance to the changes of the river channel throughout history, elaboration of flood and degree hazard maps; 2) field work for *in situ* observation of flood marks and their cataloguing, carrying out both manual and mechanical cores, sampling in present-day geomorphological elements of the alluvial plain, field observation of old abandoned channels and other morphological elements, monitoring and photographing flood episodes that took place between 1997 and 2006; 3) laboratory analyses of samples from all the cores, including sedimentological, pollen, organic matter, geochemical, ¹³⁷Cs and ²¹⁰Pb dating analyses, and analyses of radionuclide concentrations in the sediments of the alluvial plain.

This set of techniques and methodologies made possible the development of a Flood Hazard map, calculation of the return period, the development of a table of the impact indices for progressive floods, variations in channel positioning, channel bars, natural dikes and flood plain and channel infilling, the variation of sedimentation rates throughout the twentieth century, the concentration of the floodplain by the contamination by heavy metals and radionuclides.

¹ Centro de Geologia do Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. tazevedo@fc.ul.pt.

² Centro de Estudos Geográficos, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa (CEG/IGOT-ULisboa). anarp@campus.ul.pt.

³ Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa (IGOT-ULisboa). enunes@igot.ulisboa.pt.

The available data also allowed evaluate the evolution of the Tagus since the last glacial maximum, where it was probably an anastomosed river that carried sandy and pebbly sediments regarding a lower sea level than the present-day one. During the Holocene, the river built an alluvial plain composed of fine sediments with large and relatively stable isles between the channels, in an anastomosed pattern. However, successive human interventions in the alluvial plain are responsible for its transformation into a single channel river with alternating bars. The building up of the Tagus alluvial plain, throughout the Holocene, depended on natural causes affecting the entire drainage basin (climatic fluctuations and sea level rise) and anthropogenic causes, manifested either in the basin or in the floodplain, markedly obvious during the Bronze Age (from 3500 cal BP), with large-scale deforestation and consequent soil erosion, leading to a huge increase in the sedimentation rates of the floodplain. The direct human intervention on the Tagus alluvial plain was felt mainly from the Roman period on and intensified at the beginning of Portuguese nationality; XIII-XIV centuries (reign of D. Dinis). These interventions were aimed at draining alluvial plains with poor drainage, protecting agricultural lands from flood destruction and making the Tagus navigable, by avoiding its silting.

The results show the importance of a multidisciplinary approach, in which the combination of different data allows a clear evolution in the research of sedimentary environments as complex as the alluvial plains.

Keywords: floods; paleofloods; Holocene evolution; dating; anthropogenic forcing factor; contamination; climatic fluctuations.

1. Introdução

Na área das Geociências, no final da década de 1990 e primeira década de 2000, eram escassas as investigações sobre a dinâmica hidrológica holocénica e atual dos grandes rios portugueses, nomeadamente as grandes cheias que os afetavam.

Uma das autoras deste capítulo (Teresa Mira de Azevêdo), sedimentóloga de formação e cuja investigação sempre se orientou para a dinâmica fluvial, estando ciente da falta de conhecimentos e de investimentos académicos nesse tema, em particular, do que se relacionava com os episódios de cheias, concorreu como Investigadora Principal à FCT e obteve financiamento.

A investigação desenvolveu-se com dois projetos financiados pela mesma entidade. O primeiro Projecto - *IDAFRE - An Interdisciplinary Approach to Flood Risk Evaluation-Hidrology, Geomorphology and Sedimentology of the Douro, Tejo and Sado Basins* (PRAXIS/CTE/14271/98), com a duração de quatro anos (1997-2001), foi aprovado e considerado de grande originalidade, pioneirismo nos objetivos propostos. A meta seria melhorar o conhecimento do comportamento dos rios a estudar, alargando-o a épocas em que não existiam registos de leituras, permitindo deste modo aprofundar substancialmente as estimativas efectuadas para grandes períodos de retorno, i.e., para as cheias de grande magnitude. Para os três rios selecionados pretendeu-se também evidenciar as paleo-inundações e zonas de risco, com recurso a amostragem

sedimentológica em locais representativos de todos os elementos morfológicos do corredor fluvial, nomeadamente em depósitos de barras de canal, diques naturais, *crevasse-splays*, planície de inundação, meandros abandonados, mas também com recurso a sondagens realizadas especificamente para o estudo da sequência holocénica. Uma vez que as planícies de inundação são consideradas a principal “armadilha” para todos os contaminantes, fez-se também pesquisa da contaminação por metais pesados (como o Pb, Sr, Cd e Ni) antes, durante e após a revolução industrial e em relação com minerações situadas a montante. Procurou-se ainda conhecer a velocidade de sedimentação na planície de inundação através de datações ^{14}C e da estimativa da concentração de ^{210}Pb e ^{137}Cs após o início das experiências nucleares, bem como a correlação com o início do funcionamento das centrais nucleares espanholas, nomeadamente a de Almaraz.

A equipa era constituída por geógrafos (Catarina Ramos, Ana Ramos-Pereira e Eusébio Reis), geólogos (Conceição Freitas, César Andrade, Nuno Pimentel e Diamantino Pereira), investigadores e docentes das Universidades de Lisboa e Minho e por Paolo Mozzi, Juan Sanchez-Cabeza como consultores estrangeiros, aos quais se juntaram posteriormente Elisabete Nunes e Cristina Aires, como bolseiras.

Neste Projeto foram escolhidos o Tejo, o Douro e o Sado julgando-se possível, nesse momento, abarcar de modo equitativo os aspetos propostos, relativos a estes três rios de Portugal. À medida que o IDAFRE ia decorrendo a equipa ia-se apercebendo do gigantesco trabalho que estava por realizar em Portugal nesta área, sendo cada vez mais nítida a impossibilidade de abarcar com equidade os três sistemas fluviais, de acordo com os propósitos iniciais.

O Tejo acabou por usufruir de uma maior atenção, não só por ter sido o tema da Tese de Doutoramento da responsável do Projeto, mas também pela sua importância aliada ao desconhecimento profundo que existia a nível académico, de aspetos em investigação.

Os excelentes resultados obtidos no Projeto *IDAFRE*, permitiram a obtenção de financiamento da FCT de um novo Projeto intitulado *GEOTARIF (Geology and Archaeology of the Tagus Floodplain Over Time - POCTI/39427/2001)*, com a duração de dois anos prorrogados por mais dois, que terminou em 2006 com a realização de um *workshop* internacional, um dos objetivos iniciais a atingir. Este Projecto beneficiou da existência de toda a amostragem de uma sondagem de 20m de profundidade realizada ainda no final do Projecto IDAFRE, quando as condições meteorológicas permitiram a perfuração. Contou ainda com os dados de outras três sondagens manuais (Quinta da Boavista, Fonte Bela e Goucharia).

A investigação desenvolvida no IDAFRE foi continuada e completada no GEOTARIF, com ênfase na: (i) a investigação histórica de inundações do Tejo, nomeadamente as relações entre os vários episódios históricos de cheia e a artificialização do rio com base em cartas antigas (1760); (ii) a pesquisa geomorfológica baseada em cartas topográficas atuais e do

início do século XX, completada por levantamento de campo para precisar a mesomorfologia da planície aluvial, as antigas posições dos canais, bem como a dinâmica dos últimos 500 anos; iii) a pesquisa sedimentológica para a avaliação dos parâmetros texturais e comparação com os análogos sedimentológicos atuais a fim de avaliar mudanças de energia hidrológica dos fluxos; (iv) a análise geoquímica de 34 elementos diferentes para avaliar, através da variação de picos de concentrações, o grau de poluição da planície de inundação; (v) as datações de amostras usando ^{14}C , ^{210}Pb e ^{137}Cs e avaliação das taxas de sedimentação.

A região central da investigação foi a lezíria do Tejo (Figura 1), descrito desde a Idade Média como um segundo Nilo, devido à extraordinária fertilidade de sua "lezíria" (de *al-jazira* em língua árabe, que significa ilha) e onde as inundações foram, desde sempre, os eventos mais catastróficos, matando gado e pessoas, destruindo casas e terras agrícolas. Até hoje, as enchentes isolam populações por semanas, causam cortes de estradas e de ferrovias e conduzem a grandes perdas económicas, sendo já, uma das principais preocupações dos governadores portugueses, desde o século XII. Desde a década de 1970, estes eventos tornaram-se menos frequentes na sequência da construção de barragens na bacia do Tejo, nos territórios espanhol e português.



Figura 1. Lezíria do Tejo vista do miradouro de Santarém, em 2000 (foto de Ramos-Pereira).

1. A informação disponível e adquirida

Os projetos anteriormente mencionados basearam-se em abordagens multidisciplinares, englobando informação de natureza documental e laboratorial. Os subpontos que

seguem incorporam as fontes, os métodos e as diferentes técnicas utilizadas, ainda que de forma sumária.

1.1 Os dados hidrológicos

A equipa pretendia caracterizar as grandes cheias e o seu período de retorno, através do estudo da sua frequência das cheias com recurso a métodos estatísticos, simultaneamente quantitativos e qualitativos, utilizando, por um lado, séries contínuas de dados (séries foronómicas) e, por outro, informação histórica e paleohidrológica (séries descontínuas). Porém, por motivos vários alheias à própria equipa, desde o início da pesquisa que os investigadores se depararam com inúmeras dificuldades para conseguir uma boa aferição dos resultados devido à falta de dados hidrológicos, nomeadamente séries de estações hidrométricas e das descargas das barragens, por motivos vários, alheios à própria equipa. A ausência de dados de séries contínuas suficientemente longas no tempo, para o Tejo, implicou que o cálculo dos principais parâmetros fosse limitado a um período de 20 anos, entre 1972 e 1992.

Tentou-se compensar esta falta essencial de dados hidrológicos, com a aquisição de dados através de:

- (i) compilação de relatos históricos presentes em bibliotecas e arquivos históricos, compêndios de história, revistas e jornais nacionais e regionais;
- (ii) compilação de dados hidrológicos desde as primeiras leituras datadas de 1872, no caso do Tejo, permitindo obter os registos de cheias ao longo de épocas históricas;
- (iii) compilação da informação sobre obras de engenharia;
- (iv) sistematização sobre a artificialização dos canais, das medidas implementadas para a redução dos danos, bem como a adaptação das populações aos episódios recorrentes de cheia;
- (v) recenseamento das marcas de cheia, distribuídas um pouco por toda a planície aluvial do Tejo, localizadas e com as respetivas cotas determinadas com GPS digital, e recorrendo a inquéritos às populações (Figura 2).

1.2 As cartas antigas e os dados geomorfológicos

As cartas históricas disponíveis dizem especialmente respeito ao Médio Tejo (Figura 3), a área de estudo, e às mudanças do seu percurso.



Figura 2. Exemplo de marcas de cheia na lezíria do Tejo, em muros e no interior de um café em Reguengo do Alviela (Santarém), indicando as cheias de 1979 e 1989, entre outras (Nunes, fotos tiradas em 2004).

1.2.1 Artificializações históricas nos canais do Tejo

O Rio Tejo, à saída de Vila Nova da Barquinha, sempre foi considerado um rio difícil de domar, pelas violentas cheias que o afetavam e pela erosão que provocava nas margens, bem como as mudanças frequentes de canal/ais. Conhecem-se três grandes mudanças artificiais de percurso no que respeita ao canal principal.

A primeira informação que a equipa utilizou data do reinado de D. João III (1502-1557) e é, ilustrada por uma carta que exhibe os três percursos possíveis do Tejo. Este documento surge na sequência da erosão que o rio causava na margem esquerda, à saída do Maciço Antigo, nos terrenos da Carregueira, propriedade do irmão do rei e onde os prejuízos eram consideráveis. Foi então proposta a criação de “um Tejo novo”, em posição central no seio da planície (Figura 4).

A criação de um canal artificial, a meio da lezíria, constituiu um trabalho hercúleo, em que participaram milhares de trabalhadores, mas pouco eficiente uma vez que era desconhecida a morfologia típica de uma planície aluvial e a dinâmica hidrológica. Por outras palavras, a planície é mais alta em torno do canal devido aos diques naturais que o rio constrói e a parte mais baixa, a baixa de inundação, situa-se exatamente no lado

oposto da planície aluvial. A consequência foi o Tejo ter migrado em poucos anos para a área mais deprimida, junto à margem direita, indo erodir as margens da Quinta da Cardiga. Ainda hoje se reconhecem os vários canais ao longo dos quais o Tejo migrou (Guerra, 1861; Azevêdo, 2001 e 2004; Azevêdo e Nunes, 2000a e b; Ramos-Pereira *et al.*, 2006).

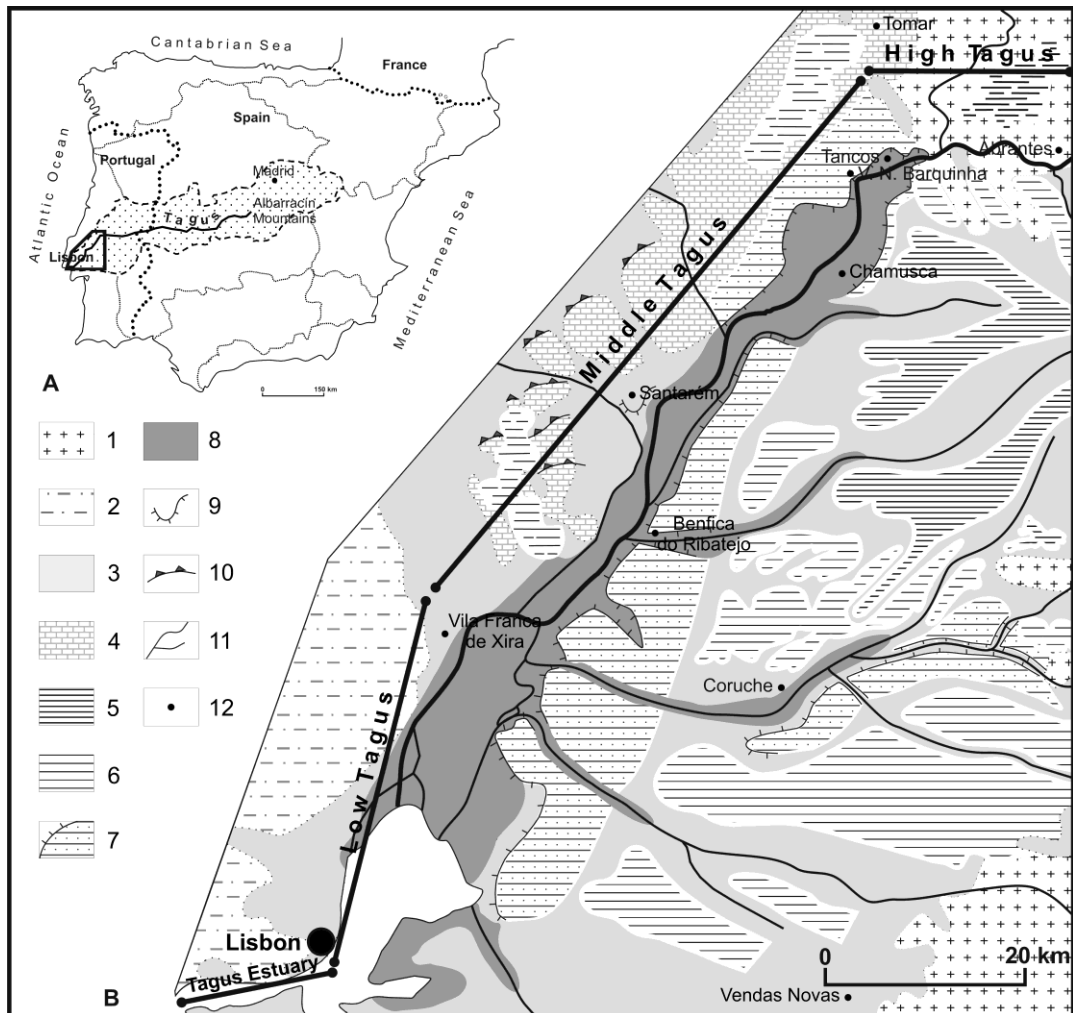


Figura 3. Enquadramento da planície aluvial do Tejo. A – A bacia de drenagem e a área estudada; B – O esquema geomorfológico. 1 – Maciço Hercínico; 2 – Margas jurássicas; 3 – Sedimentos Paleogénicos-Miocénicos-Pliocénicos; 4 – Calcários Miocénicos; 5 – Nível de superfície culminante; 6 – Nível Mora-Lamarosa; 7 – Terraços fluviais; 8 – Planície aluvial; 9 – Horst de Santarém; 10 – Costeiras; 11 – Rede de drenagem; 12 – Localidades (Extraído de Ramos-Pereira *et al.*, 2008).

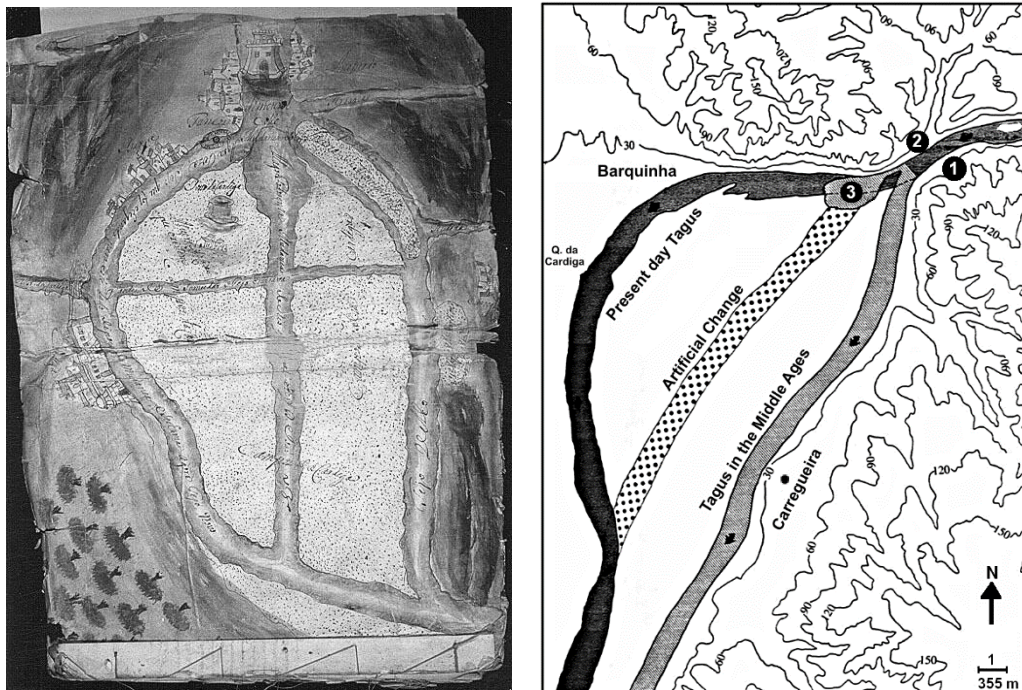


Figura 4. Mapa do século XVIII mostrando os três percursos do Tejo no século XVI, entre Tancos e Chamusca (A.N.T.T. Convento de Tomar, Ordem de Cristo, Maço 30 (vermelho), nos 1, 2 e 4, fl. 21; foto. José António Silva), à esquerda, e alterações do curso do Tejo no sec. XVI (reconstituição; Alves Dias, 1984), à direita.

Uma outra mudança, ordenada por D. João V e mencionada no Elogio Fúnebre do rei, em 1750, é referida por Estevão Dias Cabral (1790) quando diz que na perigosa passagem designada por Voltas da Andreza, o leito do Tejo foi deslocado e que os cinco canais que antes davam saída às cheias foram reduzidos a um único e ainda que "*a primeira abertura ha memoria, que foi um pequeno canal capaz de duas barcas; hoje he largo palmos 1300 e fundo palmos 50*". Segundo Teodoro de Matos (1980), as obras realizaram-se em 1746 e traduziram-se na abertura de um alvéolo próximo da Valada. Rodrigues d'Azevedo (1926), por seu lado, cita que essa abertura situar-se-ia "*entre campos de Vila Nova da Rainha e a terra chamada Caldeira, nas lezírias de Vila Franca*" e deve ter sido alargada nos finais desse século. Leite de Vasconcelos considera esta obra um "*maravilhoso feito da nossa hidráulica*". (Azevêdo e Nunes, 2000a). Quem passa na ponte de Vila Franca de Xira e pensa que o Tejo sempre ali esteve, engana-se redondamente.

Deve também ter sido feita uma obra próximo de Almeirim, já que Leite de Vasconcelos refere que, em 1936, ainda se encontrava nesta vila um local pedregoso, uma acumulação de calhaus, resultante do entulhamento do antigo canal e a que chamavam Tejo Velho (*in* Alves Dias, 1984).

1.2.2 A paisagem primitiva. Os Mouchões, os Acrescidos e as Lezírias. Análise documental

Todos os dados e a própria cartografia mais antiga encontrada, indicam que o Tejo era até ao século XIX um sistema fluvial do tipo anastomosado (Azevêdo e Nunes., 2000a) com múltiplos canais entrecortando-se, separados por grandes barras arenosas, de acordo com a definição de Smith e Putnam (1980).

Essas gigantescas barras ou *Mouchões*, (de que são exemplos no troço a jusante de Tancos, o do Inglês, o dos Coelhoos, o do Alfange, o do Conde da Vidigueira), situam-se principalmente na margem esquerda e inicialmente encontravam-se separados desta por estreitos canais deixados para trás pelo afastamento progressivo do canal principal para a margem direita. O Mouchão do Conde da Vidigueira, situado a jusante do dos Coelhoos, era servido, segundo Custódio (1992/1993) por um braço do Tejo Velho. No século XIX, no mapa de Júlio Guerra, o mesmo mouchão estava já encostado à margem. Aquele autor, que fornece inúmeras e importantes informações sobre este e outros assuntos relacionados com o Tejo, atribui a formação dos Mouchões à Alta Idade Média. Refere que *“a consolidação dos campos, obra dos homens aquando do advento da agricultura na região, não se fez toda de uma vez, foi o resultado de vários momentos cuja lógica nascia do próprio funcionamento do curso do Tejo e dos ciclos climáticos. O Tejo tem a capacidade de formar Mouchões ou aljazares, terras ou lezírias cercadas de água – as ilhas do Tejo. Estas, com as aluviões cresciam e o Tejo encarregava-se de as moldar nos seus meandros”*.

Sendo as barras separadas das margens do rio por canais, os proprietários dos terrenos ribeirinhos *“colavam”* os mouchões aos seus terrenos por enchimento artificial dos canais, formando os *Acrescidos* e aumentando assim, à custa da eliminação progressiva dos múltiplos canais, a área das suas terras de cultivo. Só no século XIX, no reinado de D. Maria Pia, esta prática foi alvo de legislação, tendo sido proibidos os *Acrescidos*. Nessa altura, porém, a maior parte dos canais estava já colmatado e o rio tendia consequentemente cada vez mais para um sistema de canal único.

Verificou-se, na consulta de mapas topográficos do início do século XX, que as folhas do mapa topográfico continham informação preciosa e detalhada que excedia em muita a fornecida pelas curvas de nível, cuja equidistância é de 10m. Com a informação morfológica de pormenor, as geógrafas que integraram o projecto, utilizando os pontos cotados, reconstruíram manualmente as curvas de nível da lezíria de metro a metro (Figura 5), o que permitiu a reconstituição dos paleocanais.

Esse trabalho moroso, que o computador não podia fazer, pois o traçado das curvas exige um conhecimento que a interpolação automática, mesmo assistida, não podia fazer, permitiu definir os elementos morfológicos presentes na planície aluvial (Ramos-Pereira *et al.*, 2002 e 2006 e Azevêdo *et al.*, 2007), tais como várias gerações de diques naturais, barras, canais abandonados, bacias de inundação e rios *yazoo*. A reconstituição da mesomorfologia da lezíria permitiu também pormenorizar a diversidade do seu perfil ao longo do troço tratado.

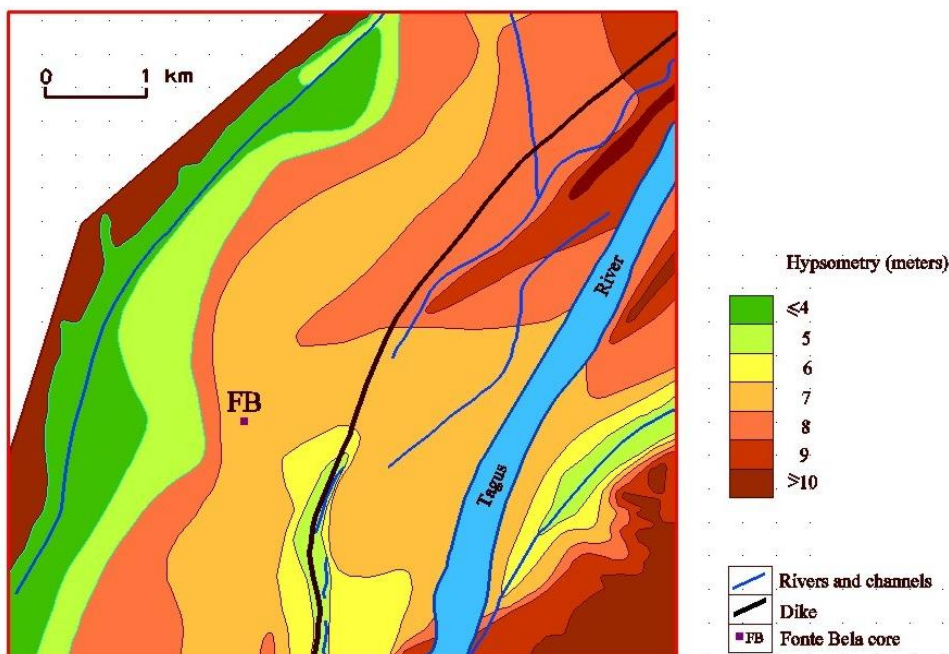


Figura 5. Extrato do esboço de reconstituição das curvas de nível metro a metro na lezíria do Tejo, com recurso aos pontos cotados (Ramos *et al.*, 2002).

A análise cartográfica e documental mostrou, pois, que o sistema fluvial do Tejo foi sendo artificializado por numerosos trabalhos hidráulicos que tinham como principal objetivo minimizar a destruição das culturas pelas frequentes cheias do rio. Com efeito, o Tejo, de acordo com a sua (i) altamente variável sinuosidade, (ii) elevada variação da razão W/D, (iii) muito baixo declive (0,0006) e (iv) carga de fundo predominantemente arenosa, podia ser definido como um rio anastomosado (D_A5 da classificação de Rosgen (Rosgen e Silvey., 1996), se não houvesse artificialização ao longo dos séculos (Ramos *et al.*, 2006 e Azevêdo *et al.*, 2007).

A situação presente - um rio de um único canal com barras alternadas - é o resultado dessas múltiplas intervenções antrópicas.

1.3. O trabalho de campo

O trabalho de campo centrou-se no Médio Tejo (Figura 2). Foram muitas as saídas de campo realizadas no âmbito dos dois projetos. Visaram objetivos variados: (i) recenseamento das marcas de cheia; (ii) reconhecimento da mesomorfologia da planície, (iii) escolha dos locais adequados para a realização das sondagens; (iv) recolhas dos análogos sedimentológicos atuais (Figura 6)



Figura 6. Recolha dos análogos sedimentológicos atuais no Patacão, Alpiarça (foto de Nunes, em 2003).

Foram realizadas ao todo quatro sondagens, três das quais manuais, que alcançaram 8,4m de profundidade, e uma sondagem mecânica de 20m de profundidade (SEV - Santarém Entre Valas), 6km a N de Santarém, na margem direita do Tejo. A seleção do melhor local para a realização dessa sondagem mais profunda (a cargo da empresa Teixeira Duarte), obedeceu a certas condições, como as de estar suficientemente próximo do rio para que registasse o maior número possível de cheias e suficientemente afastados para que os sedimentos depositados fossem de natureza argilosa e não arenosa. (Figura 7).



Figura 7. Amostragens manuais: A – Quinta da Boavista; B – Goucharia; amostragem mecânica C- amostragem SEV, amostradores Shelby de 75mm de diâmetro e 1m de comprimento acionados por pressão hidráulica e executados dentro de um furo de sondagem revestido; D-exemplos das carotes. Fotos de Nunes e Azevêdo (em 1999 e 2002).

1.4. Os dados sedimentológicos

Uma vez que estava também em investigação o comportamento do Tejo durante o Holocénico, foi analisado um total 232 amostras obtidas nas quatro sondagens, para além de 27 análogos atuais, como já foi referido, nomeadamente as suas características texturais, com avaliação da razão areia/argila, da média, do desvio padrão e assimetria, tendo-se revelado particularmente importante a correlação interparâmetros. Acrescente-

se ainda que os parâmetros texturais das amostras dos principais elementos morfológicos da planície foram utilizados como padrão, a fim de identificar esses diferentes elementos nos sedimentos mais antigos.

Após a descrição das sondagens, selecionaram-se amostras com 1cm de espessura, cada 10cm. Estas foram sujeitas ao protocolo laboratorial habitual (sedimento seco a 60° e crivado de -3 to 4 ϕ ou 8,0 de 0,0625 mm), com SEDIGRAPH (de 4 a 11 ϕ ou 0,0625 a 0,0005 mm) e utilizando o *software* SEDPC para a determinação dos referidos parâmetros texturais (Henriques, 1998, 2003, 2004), pelo método dos momentos. A classificação textural, parâmetros de calibragem e de simetria basearam-se em Fleming (2000) e Friedman (1961), respetivamente. Foram ainda feitas análises de minerais pesados e de minerais de argila (estes últimos não serão aqui referenciados).

O teor em matéria orgânica constituiu também uma preciosa informação e foi determinada para as amostras da sondagem SEV, usando 1gr de sedimento seco, através da oxidação com diacromato de potássio, seguido de uma titulação de sulfato de ferro (*Standard* E-201; LNEC, 1967).

Na impossibilidade de apresentar nesta síntese os dados e resultados referentes a todas as sondagens, optou-se por descrever apenas os obtidos para a sondagem mais profunda – a sondagem SEV (Santarém Entre Valas), já que foi nela que se testaram várias metodologias e técnicas, de que são exemplos, a contaminação por metais pesados da planície através do estudo geoquímico de pormenor e datações por ^{137}Cs e ^{210}Pb , cujas variações na concentração ao longo do primeiro metro.

1.5. Os dados geoquímicos e de metais pesados

A análise geoquímica e de metais pesados para as sondagens de Fonte Bela, Quinta da Boavista e da sondagem "SEV" foi realizada no Laboratório "Actalabs" no Canadá, para pacotes de 30 elementos. Foram estabelecidos os valores de fundo de elementos químicos seleccionados de entre os disponíveis e avaliadas as contaminações relacionadas com a atividade antrópica.

Apesar de haver alguns trabalhos sobre o conteúdo em metais pesados nas águas e sedimentos da Bacia do Tejo, nada existia sobre a sua concentração nos solos e aluviões da planície. Contudo, os metais pesados são os maiores e mais dispersos poluentes nos sistemas fluviais. Durante as cheias, os elementos traço são tipicamente absorvidos pelos grãos mais finos, principalmente pelas argilas devido à sua maior área. Assim sendo, elas dispersam-se através das águas e depositam-se na planície de inundação onde podem permanecer durante séculos.

Os elementos traço dependem principalmente da rocha mãe, no entanto, os processos de meteorização e velocidades de mineração são também significativos. Este último factor foi muito importante ao longo dos últimos 3000 anos com as ocupações sucessivas

de Alanos, Suevos, Cartagineses, Fenícios, Romanos, Visigodos (1600 a 1300 anos BP) e Árabes (1300 a 500 anos BP) (Blanco e Rothenberg, 1981). Os Romanos e Fenícios, em particular, exploraram intensivamente toda a espécie de recursos minerais do território português.

A assinatura geoquímica, tanto de origem natural como antropogénica, implicou a definição dos valores de fundo para um conjunto de elementos mais importantes. Foram usados dois métodos: gráficos de frequência cumulativa e método da área de concentração, aplicada a perfis de amostragem, bem como dois métodos numéricos, comprimento / concentração e frequência cumulativa, sendo o resultado semelhante. A mais notável observação é a que resulta da concordância geral entre os valores obtidos por cada método, com as unidades sedimentares identificadas e descritas para o SEV (Azevedo e Gonçalves, 2009). A interpretação dos resultados sobre a assinatura geoquímica dos 2,84m superiores da sondagem ignorou os efeitos da compactação pós deposicional, uma vez que, segundo Baldwin (1971) e Perrier e Quiblier (1974), esta só tem significado a partir dos primeiros 10 m.

1.6. As datações isotópicas

Para a datação isotópica foram selecionadas sete amostras consistindo em fatias de 1 cm de espessura do volume total do material orgânico (incluindo fragmentos de raízes, carvão e madeira) que foram secadas a 60°C e datadas por ^{14}C por (AMS), no *Beta Analytic Inc.* (USA). A calibragem dos dados do radiocarbono foi executada usando o método da curva de calibragem de Fairbanks0807' (Reimer *et al.*, 2004; Fairbanks *et al.*, 2005).

As amostras para identificação de elementos geoquímicos foram enviadas para *Activation Laboratories Ltd*, no Canada, seguindo o código CODE 1D Enhanced INAA (INAA.GEO.REV1) para aumentar os limites de deteção e os pacotes analíticos CODE 1E-Cu e Pb-Água-Régia ICP (AQUAJA.REV3) que determinam um conjunto de metais básicos e sulfureto de enxofre através de uma extração por *aqua regia* com um ICP/OES (Espectroscopia de Emissão Ótica de Plasma Acoplado Indutivamente) e também para limites de deteção. As amostras foram encapsuladas, irradiadas e medidas num modo multielementar por INAA para o Au + 34 elementos, que foram determinados sem destruição da amostra.

Os resultados das datações pelos marcadores de radionuclídeos (6 por ^{137}Cs e 11 por ^{210}Pb), bem como a sua interpretação, foram realizados pelo então Director do Laboratório do Instituto de Ciência e Tecnologia Ambiental, do Departamento de Física, da Universidade Autónoma de Barcelona e consultor deste projecto, Dr. Joan Albert Sanchez-Cabeza. Tratou-se especificamente do estudo dos primeiros 2,84 m dos 20m da sondagem SEV, *i.e.*, a profundidade correspondente ao radiotraçador ambiental ^{137}Cs , bem como à parte superficial dos análogos actuais dos elementos morfológicos da planície aluvial.

2. Das grandes cheias do Tejo à perigosidade da lezíria

Devido à falta de informação já anteriormente assinalada, existem poucas ou nenhuma séries contínuas longas de caudais, pelo que foram utilizadas alturas hidrométricas, da Ponte de Santarém, para o estudo das cheias no Médio Tejo. Para preencher estas lacunas, os dados disponíveis para a região de Santarém foram recolhidos em diversos arquivos (INAG, Custódio, 1992/93, L.N.E.C. 1990 e 1992, jornais, marcas de cheia) e cobrem um período, descontínuo, de 150 anos, abrangendo um período de regime natural e outro depois da construção das barragens (Figura 8). Dentro da série foi possível obter uma série contínua, de 71 anos consecutivos (1921-1991) que permitiu calcular os períodos de retorno para esta área.

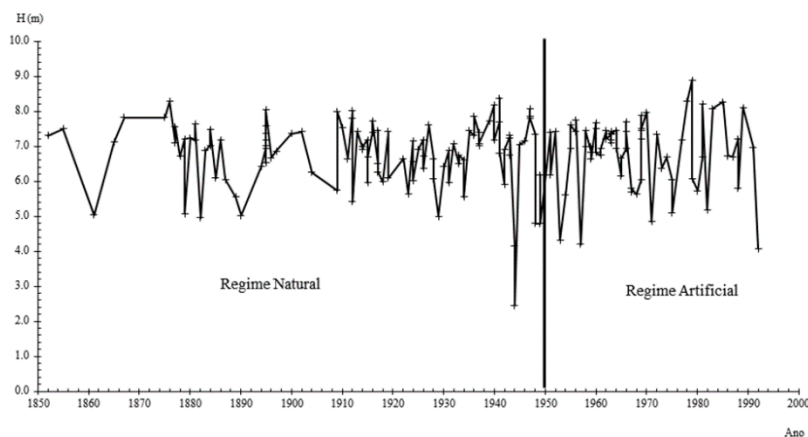


Figura 8. Alturas das cheias do Tejo, na estação de Ponte de Santarém, ao longo de um período de 150 anos e a sua quantificação antes e após a construção de barragens ao longo do rio Tejo. Extraído de Nunes (2001)

No entanto, a utilização dos dados de Ponte de Santarém carece de alguns cuidados, se tivermos em conta as características morfológicas da região (uma planície cuja largura varia entre 2 e 10 km), do próprio leito do rio e a existência de barragens a montante, cujas descargas reais são difíceis de calibrar (ainda que conhecida a curva de vazão para esta estação hidrométrica). Estas condicionantes afetam a quantificação dos caudais com precisão e, por esta razão, considerou-se a utilização das alturas hidrométricas como dados mais fiáveis para determinar a probabilidade de cheias no troço estudado, tendo sempre em consideração os valores dos caudais, quando disponíveis.

O período de retorno (T) da maior cheia do século XX (1979, $H=8,89$ m) é de aproximadamente 210 anos (Tabela 1), tendo sido calculado com o programa estatístico *HydroTech Analysis System* (1997). Esta cheia ocorreu após um período de 15 dias de precipitação consecutiva e de descargas sucessivas e mal coordenadas entre as barragens de Alcântara (Espanha) e do Castelo do Bode (Portugal), tendo inundado uma área de

871km². Verificou-se que as cheias acima de 7m cobrem quase toda a planície aluvial (Figura 9), com um período de retorno de 10 anos.

Tabela 1. Períodos de retorno das maiores cheias do séc. XX.

Ano	Nível atingido (m)(x)	Probabilidade	Período de retorno aproximado (T anos)
1940/41	8.37	0.948	22,5
1977/78	8.29	0.939	16,4
1978/79	8.89	1.007	210

(x) a este valor deve acrescentar-se 3,29m que corresponde à altitude da estação de Ponte de Santarém

O fenómeno natural que as inundações ilustram, tem claras repercussões no território e nas actividades humanas, gerando vulnerabilidade e risco. Elaborou-se então um mapa de perigosidade às inundações na região de Santarém (Figura 9). A maioria das ocorrências (58%) não causa danos humanos, mas perdas na agricultura e suportes de vida.

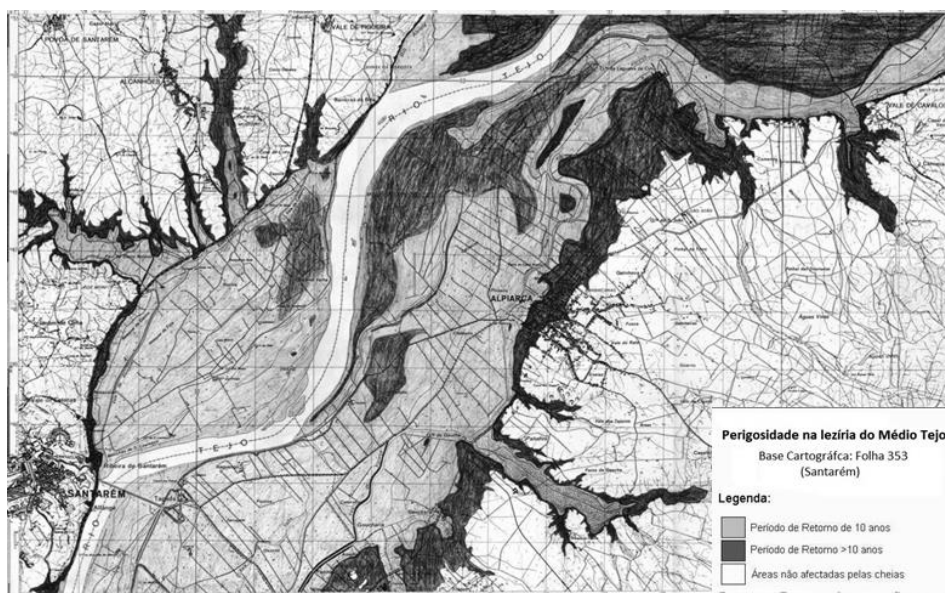


Figura 9. Perigosidade na lezíria do Médio Tejo. O mapa de base tem a escala 1:25 000. Extraído e adaptado de Nunes (2001).

Com base em todos os dados recolhidos e nos estudos efetuados, aqui muito sintetizados, foi construída uma escala de vulnerabilidade às cheias que teve em conta seis parâmetros,

agrupados em impactes humanos, agrícolas e de suporte de vida. Os primeiros foram subdivididos em mortes e população deslocada, os segundos em perda de gado e perdas na agricultura, e o terceiro em obstrução de meios de comunicação e impedimento de distribuição de víveres à população. A cada um deles foi atribuído um fator de ponderação como mostra a tabela 2.

Tabela 2. Magnitudes dos eventos de cheia na área de Santarém com base nos dados recolhidos em fontes diversas (adaptado de Nunes, 2001)

Mês/Ano	IMPACTES HUMANOS		IMPACTES AGRÍCOLAS		IMPACTES DE SUPORTE DE VIDA		IMPACTES ÀS CHEIAS PROGRESSIVAS	
	Mortes [12]	Pessoas desalojadas ⁽¹⁾ [6]	Gado perdido [8]	Agricultura perdida ⁽²⁾ [4]	Meios de comunicação bloqueados ⁽³⁾ [2]	Incapacidade de abastecer ⁽⁴⁾ [10]	Valor ponderado	Classes de impacte
02-1855				X	X	X	24	II
10-1855			X	X	X	X	20	II
01-1856			X		X	X	22	II
12-1876				X	X	X	24	II
02-1881			X		X	X	12	II
02-1895						X	2	I
02-1900						X	2	I
02-1904					X	X	6	I
10-1907					X	X	6	I
11-1907					X	X	6	I
12-1909	X	X	X		X	X	34	III
12-1910						X	2	I
02-1912	X	X	X	X	X	X	42	IV
04-1916					X	X	6	I
04-1924					X	X	6	I
09-1932					X		4	I
02-1936			X	X	X	X	30	III
01-1940	X	X	X	X	X	X	42	IV
01-1941	X	X	X		X	X	34	III
02-1941	X	X	X		X	X	34	III
03-1947	X	X	X		X	X	34	III
03-1959					X	X	6	I
11-1967	X	X	X	X	X	X	42	IV
03-1978					X	X	6	I
02-1979	X	X	X	X	X	X	42	IV
03-1979			X	X	X	X	30	III
01-1982					X		4	I
11-1983			X	X	X	X	30	III
12-1989	X	X	X	X	X	X	42	IV
12-1995			X		X	X	22	II
11-1997	X	X	X	X	X	X	42	IV

(1) Pessoas desalojadas devido às cheias (destruição parcial ou total) das suas casas, (2) Destruição parcial ou total da agricultura; 3) Estradas principais e caminhos-de-ferro inundados, e destruição (parcial ou total) dos diques de proteção; 4) Impossibilidade de abastecer (comida, água e fontes de energia) povoações isoladas. O valor ponderado é o Σ do valor atribuído a cada parâmetro ([6] por exemplo)

O somatório dos valores obtidos para cada cheia (entre 2 e 42) foi reclassificado em quatro classes, com base no digrama de dispersão (Tabela 3).

Tabela 3. Classes de impacte.

Classes	Impacte	
≤ 10	Baixo	I
11 - 25	Médio	II
26 - 35	Alto	III
> 35	Muito Alto	IV

A Tabela 2 evidencia que 42% das grandes cheias do Tejo levam a perdas de vida humanas e a Tabela 3 mostra que só 1/5 corresponde à classe de impactes às cheias progressivas muito elevados (IV). Tal deve-se a que as cheias no Baixo Tejo são progressivas e não cheias rápidas, havendo tempo para evacuar os lugares mais perigosos e tomar medidas de proteção.

A classe de impacte mais baixa (I) contempla apenas a submersão de estradas e vias férreas bem como a produção agrícola. Quando há danos humanos, a classe varia entre alta (III) a muito alta (IV), compreendendo os seis parâmetros da Tabela 2).

3. A mesomorfologia da lezíria do Médio Tejo

A reconstituição fina das curvas de nível metro a metro revelou-se um instrumento de trabalho fundamental. Permitiu definir a posição de vários diques naturais (*natural levee*) e respetivos canais, bem como definir as unidades morfológicas da planície aluvial - lezíria: as planícies de inundação, os diques naturais atuais e antigos, assim como as antigas posições dos canais ocupados pelo Tejo (Figura 10).

Merece especial atenção o transeito 1, feito no local onde no sec. XVI se fez a mudança do traçado do Tejo, já referido (Figura 4). Na posição original o canal do Tejo encostava-se à margem esquerda (*Old Tagus 1* na Figura 10). No sec. XVI, foi escavado o canal 2, porém após sucessivas cheias o canal migrou até se instalar na prévia planície de inundação (posição atual), local mais baixo da planície. Ainda hoje é possível reconhecer os antigos canais com os respetivos diques naturais.

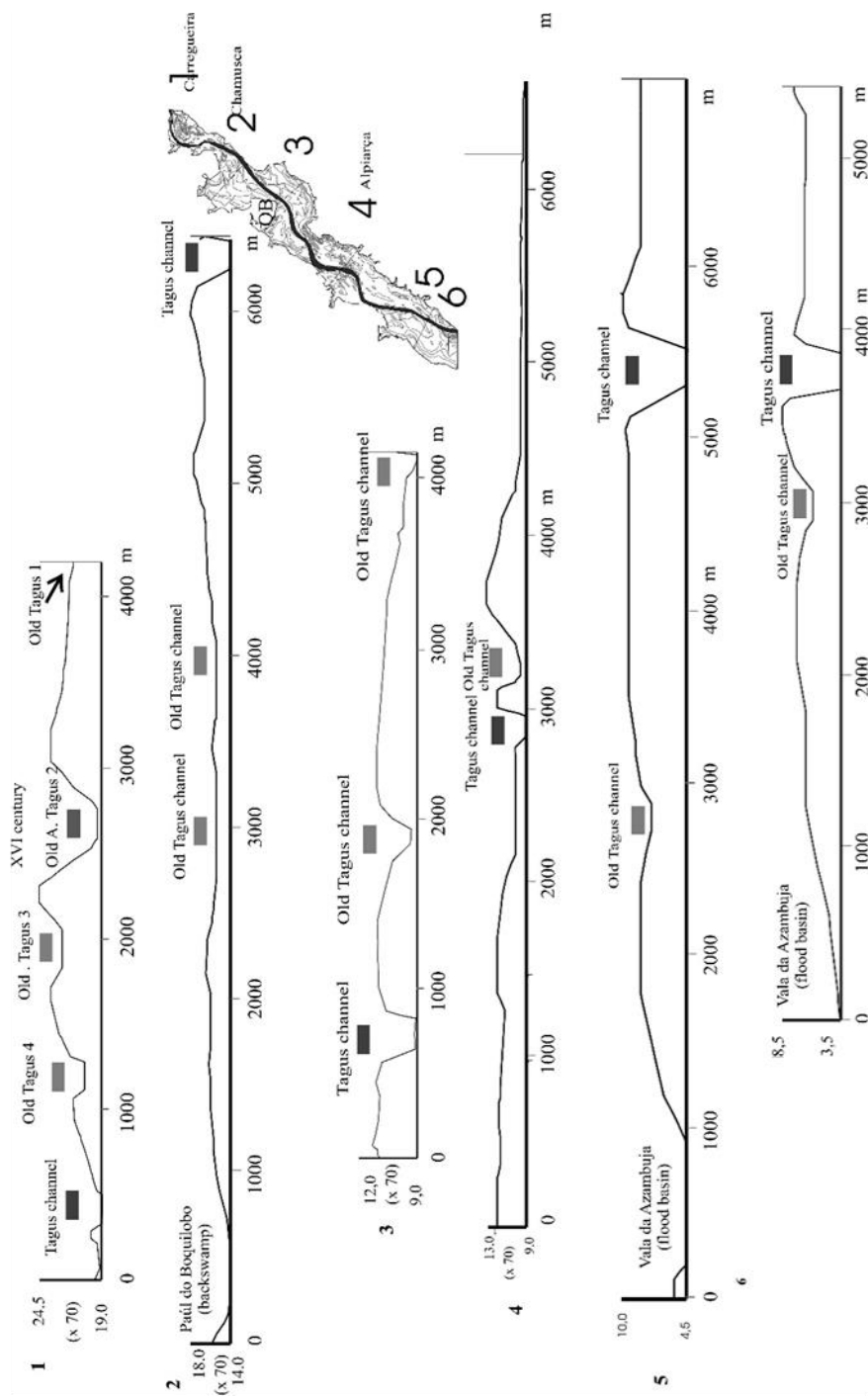


Figura 10. Transectos no Médio Tejo. A cinzento escuro está assinalado o canal atual e em tons de cinzento mais claro antigas posições do canal do Tejo (Ramos-Pereira *et al.*, 2008).

A interpretação planimétrica da reconstituição da altimetria (Figura 11) mostra que a lezíria era drenada por múltiplos canais, geradores de diques naturais e também de diversos *yazoo rivers*, instalados nas planícies de inundação, hoje transformados em valas.

Os antigos e atuais diques naturais e o rebentão (designação regional de *crevasse splay*) situam-se 1 a 4 m acima da elevação média da planície e as planícies de inundação e canais abandonados 1 a 5 m abaixo, tendo sido usados para definir as antigas posições dos canais do Tejo (Ramos-Pereira *et al.*, 2002 e Azevêdo *et al.*, 2007).

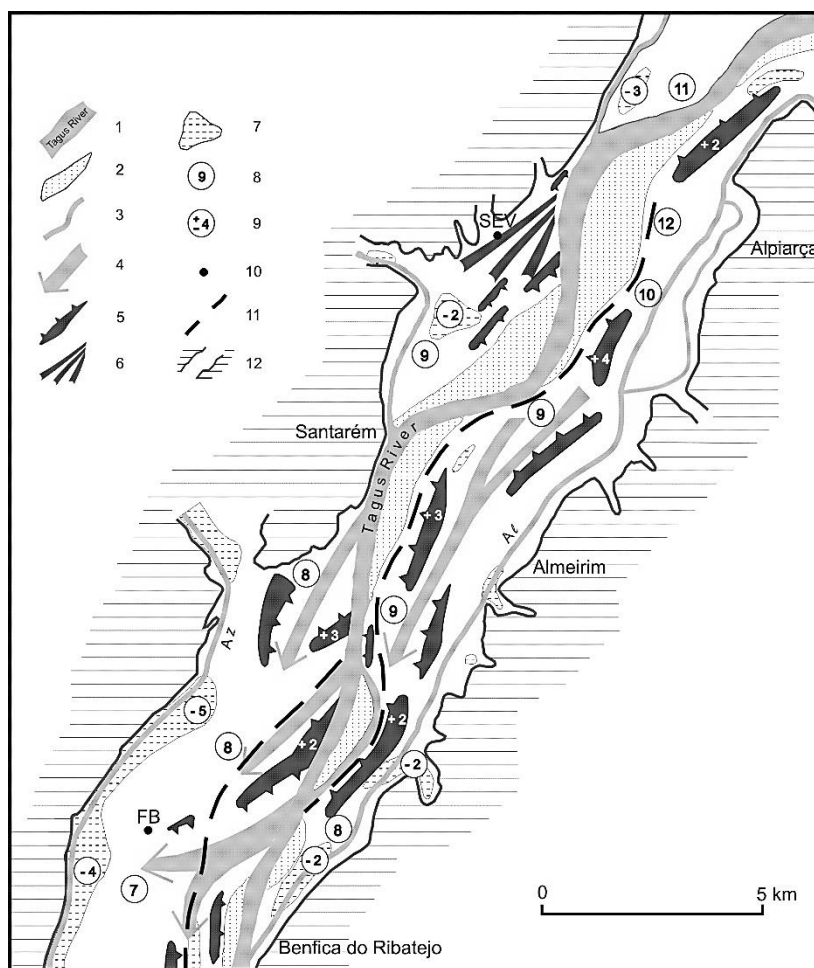


Figura 11. Esquízo geomorfológico da planície alluvial do Médio Tejo. 1 – Canal do Rio Tejo; 2 – mouchões (*point bar/bar mouchões*); 3 – *yazoo river*, Az – dique de Azambuja, Al – dique de Alpiarça; 4 – canal abandonado; 5 – diques naturais (*natural levees*); 6 – rebentão (*crevasse splay*); 7 – planície de inundação (*flood basin*); 8 – altitude da planície aluvial em metros; 9 – anomalia positiva ou negativa em metros; 10 – local de sondagem; 11 – dique artificial; 12 – margem da da planície aluvial (Ramos-Pereira *et al.*, 2008).

4. As paleoinundações: cheias e avulsões na construção da lezíria

Em ambientes de energia muito variável como são os fluviais, é obrigatório que a deposição de algumas dezenas de metros de espessura de sedimentos, ao longo de milhares de anos, mostre as flutuações nessa energia através do estudo sedimentológico, permitindo localizar no tempo e no espaço, as variações no posicionamento dos canais, da planície de inundação, das baixas de inundação, dos episódios de avulsão e de *backwater*.

4.1. A sequência sedimentológica

Na Figura 12, que ilustra a variação dos parâmetros texturais ao longo da sondagem SEV, é clara a existência de três unidades principais (de 19,35 m a 13,49 m; de 13,49 m a 2,89m e de 2,89 m até à superfície), que são enfatizadas em todos os parâmetros texturais.

Datações nestas três unidades permitiram reconstituir a variação na posição dos canais e planícies de inundação bem como episódios de *backwater*.

Unidade I - ainda de idade Plistocénica (antes de 9395 cal BP), mostra um conjunto de sedimentos com grande variação no tamanho dos grãos, de areia fina a média (médias variando entre 2,54 e 7,31 ϕ), fracamente calibrada, com assimetria predominantemente positiva. O padrão é muito irregular para todos os parâmetros texturais, indicando possivelmente um ambiente de transição, uma vez que jaz sobre sedimentos cascalhentos que a sonda não conseguiu penetrar. Dadas as variações neste conjunto, ele reflete um ambiente fluvial contrastante e energético, com alternância de episódios erosivos e deposicionais.

- *Unidade II* – conjunto sedimentar muito fino, situado numa posição intermédia, com idade compreendida entre 9395 e 1664 Cal BP, contendo cerca de 79% de silte e argila. Trata-se de uma unidade monótona, nitidamente distinta das adjacentes, revelando ambiente de muito mais baixa energia do que o anterior, característico do enchimento da planície aluvial.

- *Unidade III* – pacote sedimentar superior (o topo da sondagem situa-se 8,60 m acima do nível do mar), mostra que, após um longo período (cerca de 7700 anos) de deposição fina, o canal principal migrou lateralmente, o que é verificado pela grande variação do teor em argilas (de 9,43 a 80,30%), média (1,92 e 7,37 ϕ) e uma assimetria predominante positiva, numa sequência positiva, revelando, uma vez mais, um ambiente mais energético.

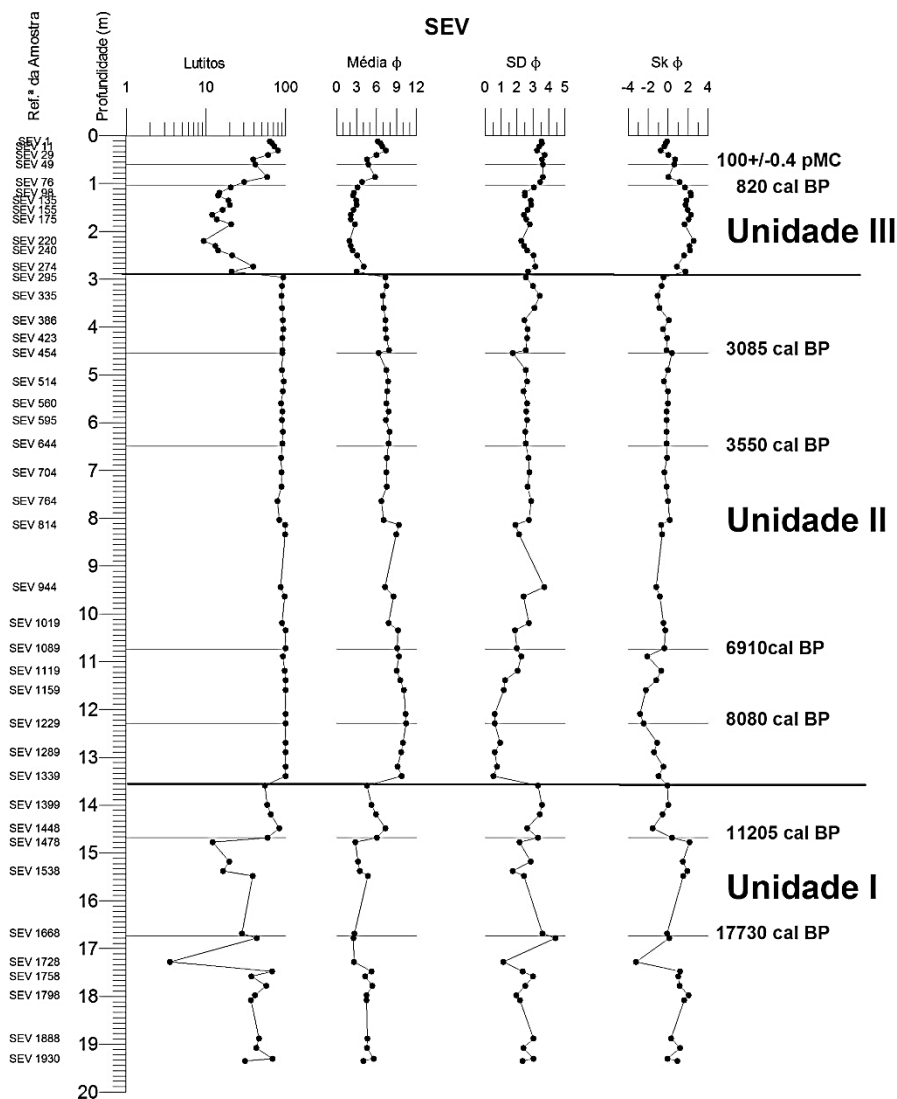


Figura 12. Parâmetros texturais dos sedimentos da sondagem SEV. pMC – percentagem de carbono moderno, definido a partir de 1950.

4.2 Reconstituição da atividade do Tejo

Os resultados da análise sedimentológica comparados com os obtidos em várias sondagens realizadas previamente, transversalmente ao fundo do vale, (Mendonça, 1990) mostram, em todas elas, para além das variações laterais de fácies típicas da formação das planícies aluviais, a existência, de uma unidade muito monótona silto-argilosa (*Unidade II*).

No SEV, em particular, a datação de 7 amostras, prova que esta unidade foi depositada num período de 7000 anos, desde *circa* 9500 cal BP, sobre outra (*Unidade I*) com características totalmente diferentes, típicas de ambientes de alta energia, em que se intercalavam alguns episódios cascalhentos, durante o último máximo glaciário. Sabendo-se que o nível do mar estava então cerca de 120m abaixo do actual na costa portuguesa (Dias *et al.*, 2000), o fundo do vale do Tejo seria então muito mais profundo, ainda que já muito largo e controlado pelo sistema complexo de falhas do Baixo Tejo (Mendonça e Cabral, 2003; Cabral *et al.*, 2004), sendo o Tejo então, um rio do tipo anastomosado (*braided*).

A deposição da *Unidade II* começa com o aumento rápido do nível do mar (Dias *et al.*, 2000), num ambiente estuarino, entre *circa* 9500 cal BP e *circa* 4900 cal BP, num clima do tipo mediterrânico (atestado pela análise polínica e pelos polinormorfos não polínicos - NPPs; Figura 13).

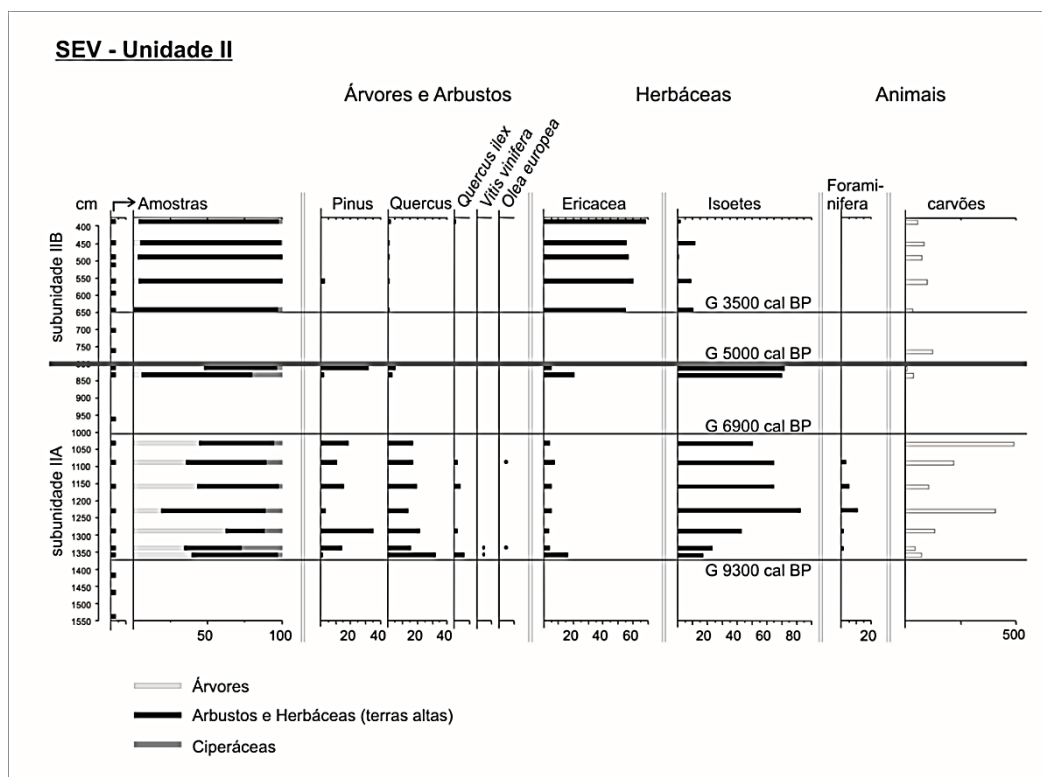


Figura 13. Análise polínica e de palinormorfos não polínicos na *Unidade II* da sondagem SEV (Azevêdo *et al.*, 2006 e Nicosia *et al.*, 2011).

A deposição desta unidade continua entre *circa* 4900 cal BP e *circa* 2800 – 2600 cal BP, agora, porém, num ambiente exclusivamente fluvial (sem a presença de intrusões de água salobra; os foraminíferos estão ausentes), devido à relação entre a progradação da planície aluvial e a estabilização do nível do mar, na posição próxima da actual. Nesta fase as taxas de sedimentação aumentam muito, especialmente entre 3546 e 3079 cal BP em que se regista uma taxa de 4,2 mm/ano, atingindo 6,2 mm/ano entre 3079 e 2806 cal BP (Ramos-Pereira *et al.*, 2008). A dinâmica fluvial mais energética nesta fase era já verificada nas sondagens hidrogeológicas (Mendonça, 1990)

A grande acreção na planície foi o resultado da combinação de fatores climáticos e antrópicos responsáveis pela intensa erosão na bacia de drenagem. Do ponto de vista climático corresponde a um período relativamente quente (Alley, 2002) e seco (Mateus e Queiroz, 1993), em simultâneo com o impacte antropogénico na bacia de drenagem, especialmente desde a Idade do Bronze (Mateus e Queiroz, 1993). A intensa desflorestação é evidenciada na sondagem SEV (Figura 13) pela grande diminuição de *Quercus* e o quase desaparecimento dos pólenes de *Pinus*, assim como o aumento significativo de *Ericacea*. A expansão da charneca, essencialmente de espécies de *Erica* e *Calluna*, em detrimento da floresta era já conhecida na bacia do Tejo e na Serra da Estrela (Mateus e Queirós, 1993; van der Knaap e van Leeuwen, 1995).

Próximo de *circa* 2800 – 2000 (?) cal BP, a sedimentação da *Unidade II* foi abruptamente interrompida, para dar lugar à *Unidade III*, característica de um ambiente fluvial muito mais dinâmico que o anterior, tal como se pode ver na redução em 71% de elementos finos e erosão parcial do topo da *Unidade II* por um sistema fluvial de tipo anastomosado (também evidenciado nas sondagens hidrogeológicas).

Foi nesta fase que as mais altas velocidades de sedimentação na planície aluvial foram atingidas, sendo 4 a 9 vezes mais altas do que as do enchimento Holocénico (média = 1,3 mm/ano), devido aos primeiros impactos da atividade humana na bacia de drenagem. Essa intervenção da Idade do Bronze expressou-se por uma forte desflorestação (evidenciada pela análise polínica, Figura 13) o que levou a intensa erosão dos solos e ao subsequente acréscimo na velocidade de sedimentação na planície aluvial.

Nesta última fase da evolução da planície, a taxa média de sedimentação foi de aproximadamente 1mm/ano. No entanto, essa taxa mascara uma enorme variação energética no ambiente fluvial. Até, grosso modo, o início da nacionalidade portuguesa (século XII), os sedimentos são, no seu conjunto, geralmente arenosos (> 70% da composição fundamental), semelhantes aos actuais diques naturais (Ramos *et al.*, 2006), correlativos da aproximação do canal fluvial do local da sondagem, com possíveis episódios de avulsão (Azevêdo *et al.*, 2007). Posteriormente, a sedimentação apresenta consideráveis variações texturais, mas, em geral, com sedimentos menos grosseiros, cujas características correspondem às da atual planície aluvial artificialmente drenada com valas (Ramos *et al.*, 2006).

5. As contaminações na lezíria

A geoquímica do SEV está representada na Figura 14, juntamente com as datações ^{14}C , para o conjunto de elementos selecionados (Ramos-Pereira *et al.*, 2008) e permite concluir que: i) o conteúdo em argila separa claramente as diferentes unidades sedimentológicas; ii) entre 100 e 300 cm, observa-se uma diminuição geral no conteúdo em argila acompanhado do decréscimo na maioria dos elementos; (iii) elementos como Au, As, e Zn apresentam um padrão mais ou menos constante ao longo do perfil de sondagem; iv) o Cu é o único elemento claramente enriquecido nas camadas superiores do perfil, tal como acontece, ligeiramente, para o Pb.

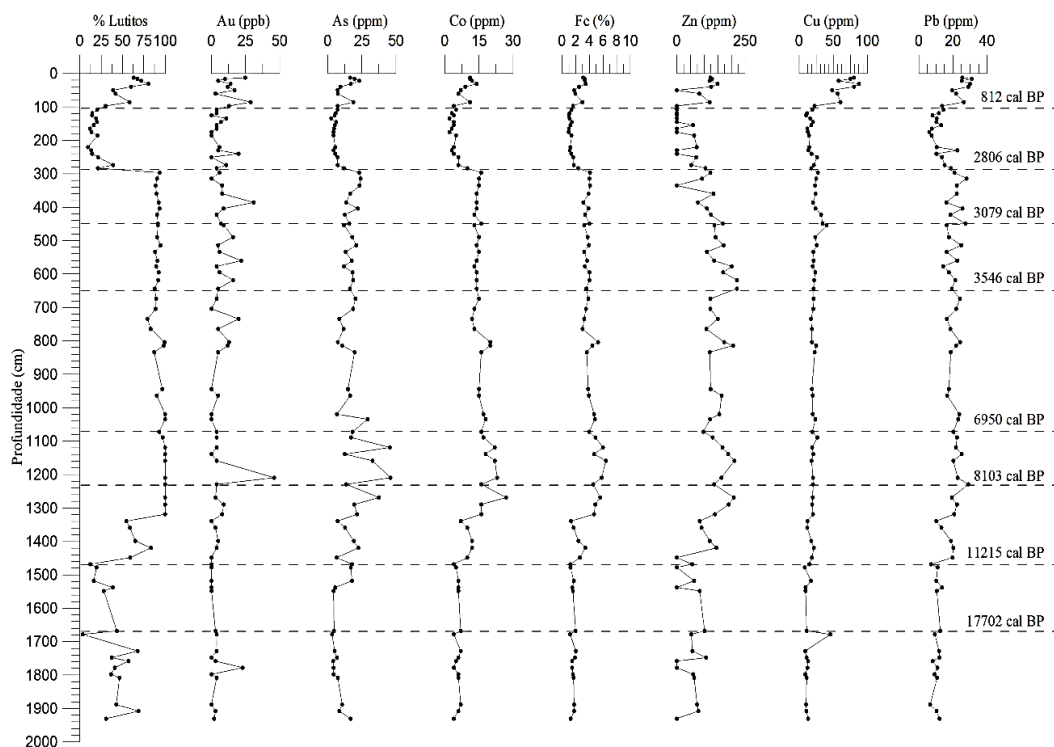


Figura 14. Conteúdo em argilas e concentrações de elementos selecionados ao longo dos sedimentos da sondagem SEV e datações de ^{14}C .

Conclui-se, portanto, que a variação, ao longo da sondagem, na concentração dos elementos selecionados permite considerar Unidades geoquímicas coincidentes com as sedimentológicas:

Unidade I - mostra a variabilidade nas concentrações de metais, com picos bem definidos em todos os elementos correspondentes ao espessamento textural; o máximo em 17,3 m

não é facilmente explicável fora do contexto de uma perturbação natural regional. Co, Cr, Au e Zn não apresentam enriquecimento significativo, enquanto As e Pb registam fator de enriquecimento 2 e Cu 4.

Unidade II – com uma sedimentação fina e monótona, não evidencia nenhuma variação relevante.

Unidade III - o padrão geral é semelhante à Unidade I, embora com maior Fe e relativo enriquecimento em Au. Em detalhe, esta Unidade pode ser subdividida na subunidade A (0-87cm) e subunidade B (87-284cm), com comportamentos contrastantes: a subunidade B mostra maior fator de enriquecimento (mais uma vez em relação à textura mais grosseira) e Zn é o único elemento com nenhum enriquecimento significativo; na subunidade A, Pb, Cu e Au mostram fator de enriquecimento de 2 a 4,5, enquanto o Zn sofre uma depleção (Azevêdo e Gonçalves, 2009).

É possível distinguir cinco segmentos nos sedimentos da sondagem: (i) os 100 cm superficiais onde há valores anómalos do Au, Cu, e Pb; ii) entre 423-490 cm, onde o Cu e o Pb estão ainda acima do valor de fundo; iii) entre 577-674 cm com Zn e Au; iv) entre 764-834 cm onde Zn, Fe, Co, e Au têm valores acima do valor de fundo; e v) entre 1034-1339 cm onde quase todos os elementos têm valores mais altos do que o valor de fundo, neles se incluindo Au (7%), As (83%), Co (67%), Cr (67%), Fe (80%), U (100%), Zn (50%), and Pb (14%) (Figura 15).

No que respeita ao conteúdo geoquímica do SEV até aos 2,84m, salienta-se claramente que as concentrações de Cu, Pb e Zn são mais altas nos primeiros 86 cm, mostrando, contudo, várias flutuações que podem depender de antigas atividades mineiras e eventos erosivos.

O padrão geoquímico evidenciado permitiu concluir:

(i) O comportamento geoquímico da maioria dos elementos segue, de uma forma geral, o teor em argila nos sedimentos, embora os elementos Cu, Pb e Au mostrem um comportamento diferente principalmente porque são particularmente enriquecidos nas camadas superiores dos sedimentos da sondagem, e Na uma vez que tende a diminuir à medida que alteração química aumenta.

(ii) Os valores de fundo calculados forneceram a definição de 5 segmentos principais no core de SEV onde os diferentes elementos são mais altos do que os valores do fundo.

(iii) O mais importante desses segmentos situa-se entre 1034-1339 cm, cuja datação permite fazê-lo coincidir com o Ótimo Climático do Holocénico Inferior (*Early Holocene Warm Period*), com quase todos os elementos com valores anómalos, que tem sido interpretado como a forte alteração das rochas a montante, em consequência da deglaciação desde o Último Período Glaciário. Este episódio justifica provavelmente os valores mais altos do que o valor de fundo para Au, As, Co, Cr, Fe, U, Zn e Pb, que ocorrem neste segmento. Nenhum outro segmento do testemunho de sondagem mostrou

semelhante variedade de elementos superiores aos valores de fundo. O estabelecimento do ambiente estuarino *circa* 3000 a 4000 anos cal BP parece justificar os valores anómalos em Zn, Au, Co e Fe nos segmentos 764-834 cm e 577-674 cm.

(iv) As Influências antropogênicas destacam-se nitidamente no segmento 423-490 cm, principalmente por causa da identificação do carvão vegetal e da matéria orgânica carregada (Nicosia *et al.*, 2011), enquanto a presença de valores anómalos de Cu e Pb se justifica melhor pela afinidade que estes elementos têm com a matéria orgânica.

(v) Finalmente, o ultimo metro do segmento superior datado de 812 anos, é o único em que as atividades antropogênicas têm um sinal claro no Cu (sulfatação de vinhas), embora seja também possível que as várias amostras com valores mais elevados do que o valor de fundo do Au (e Pb) possam refletir o transporte continuado de sedimentos de locais perturbados por séculos de atividades mineira desde, pelo menos, os tempos romanos.

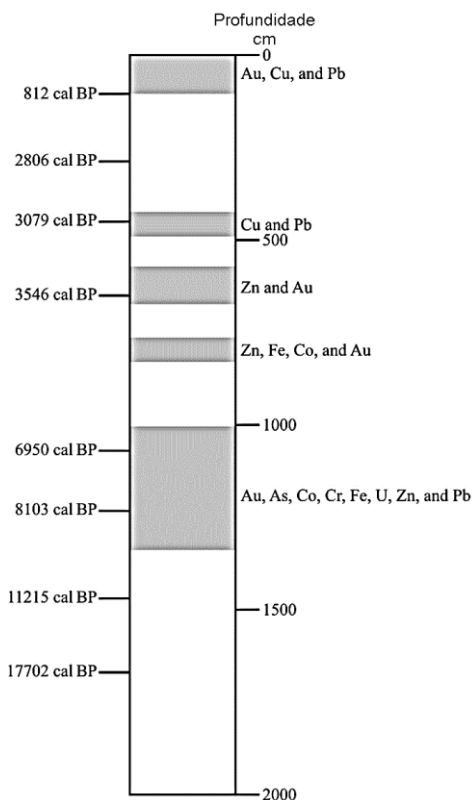


Figura 15. Segmentos da sondagem SEV com a datação ^{14}C , onde a cinzento se evidenciam os elementos com concentrações acima do valor de fundo, identificados à direita.

6. Datações isotópicas e eventual contaminação da Lezíria do Tejo por radionuclídeos

Após o tratamento das amostras para datação isotópica do ^{137}Cs e ^{210}Pb , foram efetuados gráficos de correlação destes elementos com os primeiros 2,86m de profundidade do testemunho da sondagem SEV, visto que somente a partir de 1954 eles foram dispersos na atmosfera terrestre pelas experiências nucleares do EUA.

Com o objetivo de datar a história sedimentar dos últimos 100 anos da sondagem SEV, foi determinado o ^{210}Pb em amostras selecionadas. Os dados foram confirmados através de datações pelo ^{137}Cs cuja base (1954) foi encontrada a 0,74m.

Foram determinadas oito idades por ^{14}C das quais 6 foram utilizadas para calcular o modelo de datação linear usado para interpolar as idades calibradas por ^{14}C , a profundidades diferentes (Figura 16a).

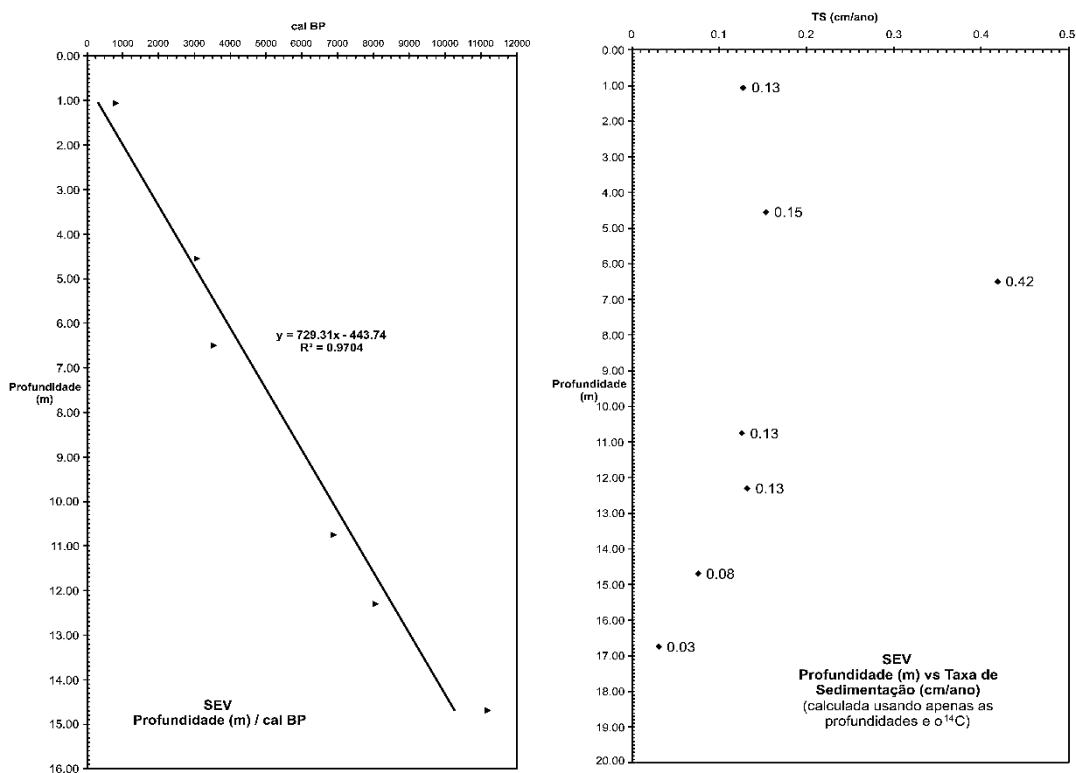


Figura 16. (a) Modelo de datação linear usado para interpolar as idades calibradas por ^{14}C , a profundidades diferentes (à esquerda); (b) Velocidades de sedimentação para todo o testemunho de sondagem SEV (20m), com base nas datações de ^{14}C (à direita; Azevêdo *et. al.*, 2004 a ou b).

Utilizando o modelo de datação pelo ^{14}C foram calculadas as velocidades de sedimentação para todo o testemunho de sondagem (20m). Uma importante variação na velocidade de sedimentação pode justificar a divergência entre a datação por ^{210}Pb e por ^{14}C a 1,03m (820 cal BP) (Figura 17).

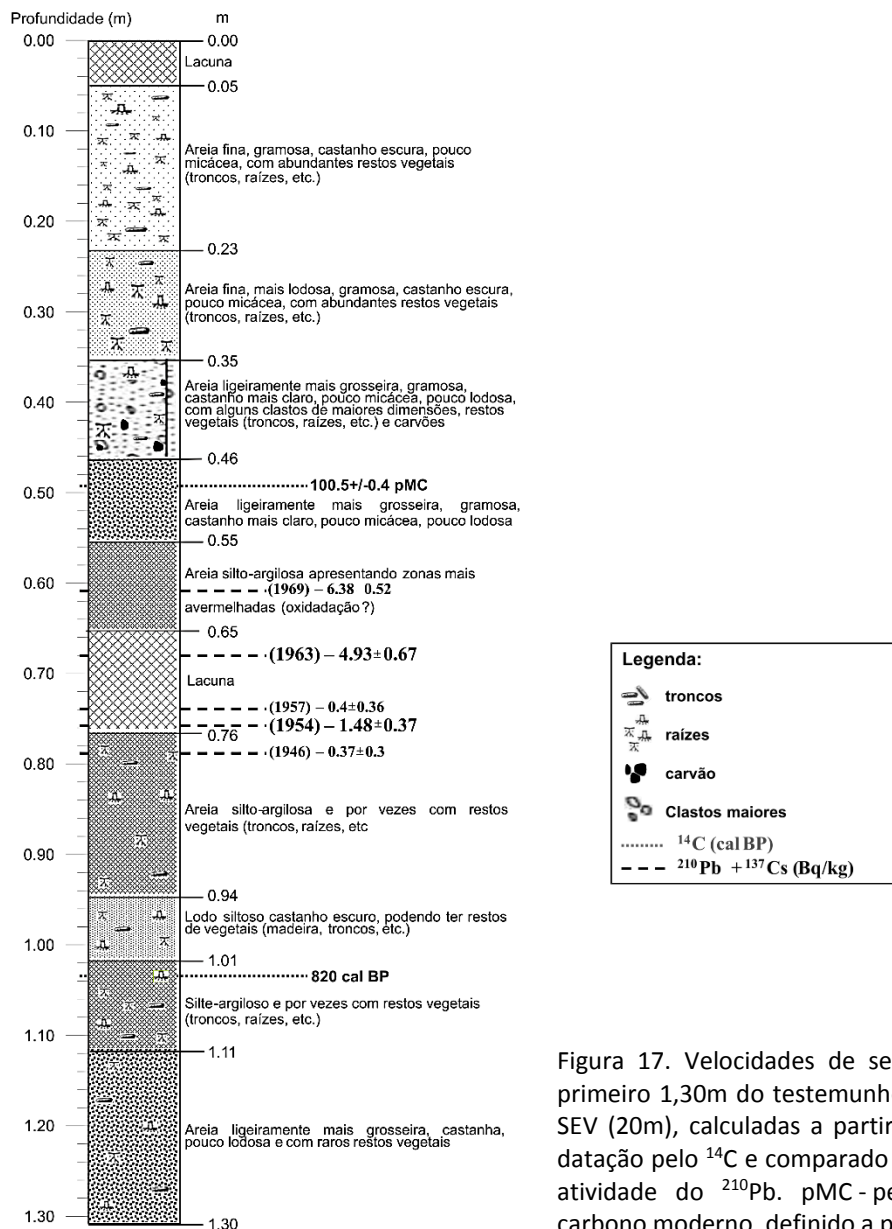


Figura 17. Velocidades de sedimentação no primeiro 1,30m do testemunho de sondagem SEV (20m), calculadas a partir do modelo de datação pelo ^{14}C e comparado com o perfil de atividade do ^{210}Pb . pMC - percentagem de carbono moderno, definido a partir de 1950.

Os primeiros valores acima da atividade mínima detetável (1,48Bq/kg) estão associados ao aparecimento do ^{137}Cs no ambiente em 1954 (0,75-0,76cm) e o primeiro máximo a 0,67-0,68 cm (4,93Bq/kg) é devido à atividade máxima do ^{137}Cs no ar, em 1963.

Os últimos cinco pontos superiores com os valores mais altos representam apenas medições isoladas. Sugerimos que algumas das mais altas atividades observadas possam ser devidas (Figura 17):

1. Eventos de erosão episódica na bacia, podendo carrear solos contaminados.
2. Na zona superior, descargas episódicas da barragem nuclear de Almaraz, na parte espanhola da bacia do Tejo. No entanto, isso não pode explicar o pico de 6.38Bq/Kg, já que isso aconteceu cerca de 1969, quando o reator de Almaraz ainda não estava operativo.
3. Estas datações por ^{137}Cs estão apenas 2 anos deslocadas em relação às datações pelo ^{210}Pb .

Verificou-se também que as velocidades de sedimentação não são comparáveis entre os diferentes métodos já que as escalas temporais são muito diferentes - milhares de anos para o ^{14}C e dezenas de anos para o ^{210}Pb e ^{137}Cs (Figura 18 e Tabela 4).

As datações por ^{14}C , ^{210}Pb e ^{137}Cs das 4 sondagens abertas na região de Santarém permitiram determinar as velocidades de sedimentação na planície de inundação do Tejo. Os resultados são bastante diferentes tanto ao longo dos perfis verticais como com a distância ao canal principal, variando entre 8,9mm/ano (^{137}Cs) e 1,46mm/ano (^{14}C), para o SEV core.

6. Conclusões

Os resultados obtidos mostram a importância de uma abordagem multidisciplinar, na qual a combinação de diferentes dados permite uma clara evolução na pesquisa de ambientes sedimentares tão complexos quanto as planícies aluviais.

No final do último período glaciário, o rio Tejo era, provavelmente, um rio anastomosado, que transportava sedimentos arenosos e pedregosos em relação com um nível do mar mais baixo do que o actual. Durante o Holocénico, o rio edificou uma planície aluvial composta de sedimentos finos com ilhas grandes e relativamente estáveis entre os canais, num padrão anastomosado. No entanto, as sucessivas intervenções humanas na planície aluvial são responsáveis pela sua transformação num rio de canal único com barras alternadas.

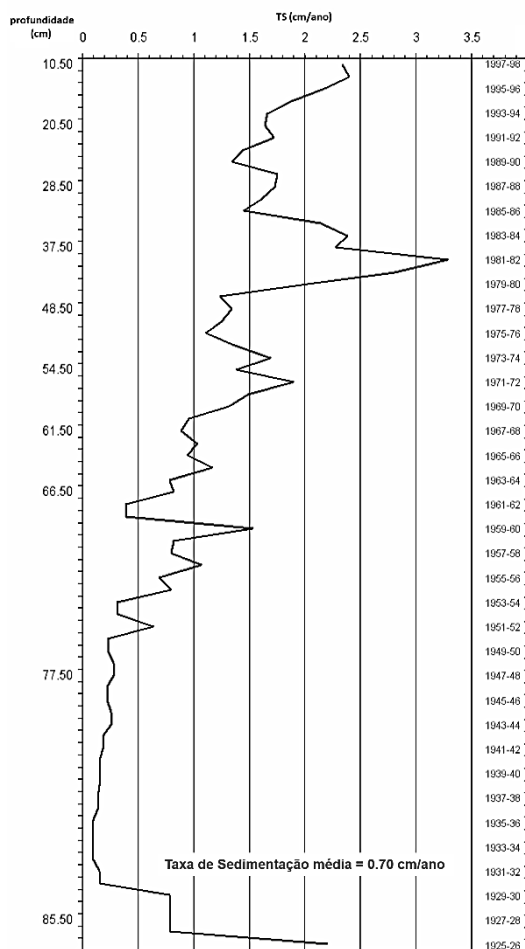


Figura 18. Taxa (TS) de sedimentação a partir do perfil de actividade do ^{210}Pb .

Tabela 4. Velocidades de sedimentação para o ^{210}Pb e ^{137}Cs .

Profundidade (m) Ano	SEV Taxa de Sedimentação ^{210}Pb (mm/ano)	SEV Taxa de Sedimentação ^{137}Cs (mm/ano)
0.75-0.67 (1954-1963)	7 mm/ano	8.9 mm/ano
0.10-0.93 (1904-1997)	8.1 mm/ano	

De facto, a edificação da planície aluvial do Tejo, ao longo do Holocénico, dependia de causas naturais que afetavam toda a bacia de drenagem (flutuações climáticas e subida do nível do mar) e causas antropogénicas, manifestadas quer na bacia hidrográfica quer na planície aluvial. Os impactos da intervenção humana na bacia de drenagem são visíveis na Idade do Bronze (a partir de 3500 cal BP), com desmatamento em grande escala e consequente erosão do solo, levando a um enorme aumento nas taxas de sedimentação da planície aluvial. A intervenção humana diretamente na planície aluvial do Tejo foi sentida principalmente a partir do período romano e intensificada no início da nacionalidade portuguesa; dos séculos XIII-XIV (reinado de D. Dinis), quando a recolonização da terra recomeçou e a agricultura foi reorganizada após as guerras entre os cristãos e os muçulmanos. Estas intervenções, cujos principais objetivos consistiam em (i) drenar as planícies aluviais com deficiente drenagem, (ii) proteger as terras agrícolas da destruição pelas cheias e (iii) tornar o Tejo navegável, evitando o seu assoreamento, acabaram por artificializar o rio e todo o sistema de drenagem da planície aluvial.

Nas últimas décadas do século XX foi introduzido um novo componente nos solos da lezíria o ^{237}Cs resultante das experiências nucleares americanas. Os pontos anómalos no perfil de atividade desse radionuclídeo permitiram sugerir descargas na Central Nuclear de Almaraz.

Bibliografia

- A.N.T.T (S/D.). Conventos de Tomar, Ordem de Cristo, Maço 30 (vermelho), nos 1, 2 e 4, fl. 21.
- Alley R.B. (2002). The Two-Mile Time Machine: Ice Cores, Abrupt Climate Change, and Our Future. Princeton University Press.
- Azevêdo T.M. (2001). A utilização dos dados históricos no estudo das cheias do Tejo. *Estudos do Quaternário*, 4, APEQ, Porto, pp.69–77.
- Azevêdo T.M., Nunes E. (2000a). The Tagus' river historical data as a colmatation of the hydrological registration gap (Santarém, Portugal), *European Geophysical Society, Geophysical Research Abstracts*, Volume 2, CD-Rom ed. Nice, France.
- Azevêdo T.M., Nunes E.V. (2000b). The 1550 change of the Tagus river channel, Abstracts, VI *Reunión Nacional de Geomorfología, Geomorfología para el Tercer Milenio y Sociedad*. Madrid, Spain, pp. 36.
- Azevêdo T.M. (2004). As mudanças de percurso do Tejo nos tempos modernos. Causas naturais e antrópicas. Capítulo de livro das Publicações da Universidade Aberta. In *Evolução Geohistórica do Litoral Português e Fenómenos Correlativos. Geologia, História, Arqueologia e Climatologia*". Tavares et al. (Eds.), Univ. Aberta, Lisboa. p. 517-567
- Azevêdo T.M., Sanchez-Cabeza J.A., Ramos C., Nunes E., Ramos-Pereira A. (2004a). Sedimentation rate evaluation based on geochronology: ^{14}C , ^{210}Pb and ^{137}Cs datings on the Tagus floodplain.

Abstracts. *32nd International Geological Congress*, Florence, Italy. (CD-ROM, abstracts, part I – 354).

Azevêdo M.T., Favaretto S., Miola A., Mozzi P., Nicosia C., Nunes E., Sostizzo I. (2006). Palaeoenvironments of the Tagus valley during the last 15 ka: sedimentological, palynological and micromorphological evidence of the Entrevalas SEV coring (Santarem, Portugal). *Tagus Floods '06 Workshop*, Lisbon, Portugal, pp. 68-70.

Azevêdo T.M., Gonçalves M.A. (2009). Geochemistry of core sediments from the Middle Tagus alluvial plain (Portugal) since the last glacial: using background determination methods to outline environmental changes. *Environmental Earth Sciences*, 59, 1: 191-204.

Azevêdo T.M., Ramos-Pereira A., Ramos C., Nunes E., Freitas M.C., Andrade C., Pereira D.I. (2007). Floodplain sediments of the Tagus River, Portugal: assessing avulsion, channel migration and human impact. In Gary Nichols, Edward Williams, Chris Paola (ed.), *Sedimentary Processes, Environments and Basins: A Tribute to Peter Friend*, (pp. 535-554). Special Publication nº 38 of the *International Association of Sedimentologists*, Wiley-Blackwell, Chicester.

Baldwin B. (1971). Ways of deciphering compacted sediments (pp. 2/ *Quaternary Studies*, 0(93–301). *Journal of Sedimentary Petrology*, 41 (1): 293-301.

Blanco FA, Rothenberg B (1981). *Exploración Arqueometalúrgica de Huelva (EAH)*. Barcelona: Labor.

Cabral E.D. (1790). Memória. Sobre os danos cauçados pelo Téjo nas fguas ribanceiras. In: *Memórias Económicas* (155-197), Tomo II.

Cabral J., Ribeiro P., Figueiredo P., Pimentel N., Martins A. (2004). The Azambuja fault: An active structure located in an intraplate basin with significant seismicity (Lower Tagus Valley, Portugal). *Journal of Seismology* 8: 347–362.

Custódio J. (1992/93). Alpiarça, o lugar, a freguesia e o concelho no distrito de Santarém, *PDM de Alpiarça*, Lisboa, pp. 272.

Dias J.J. Alves (1984). Uma grande obra de engenharia em meados do século XVI. A mudança do rio Tejo. *Revista Nova História*, Ed. Estampa, Lisboa.

Dias J.M.A., Boski T., Rodrigues A., Magalhães F. (2000) Coast line evolution in Portugal since the Last Glacial Maximum until presente – a synthesis. *Marine Geology*, Volume 170, Issues 1-2: 177-186.

Fairbanks R.G., Mortlock R.A., Chiu T.-C., Cao L., Kaplan A., Guilderson T.P., Fairbanks T.W., Bloom A.L., Grootes, P.M., Nadeau M.-J. (2005). Radiocarbon calibration curve spanning 0 to 50,000 years BP based on paired $^{230}\text{Th}/^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ and ^{14}C dates on pristine corals. *Quaternary Science Reviews*, Volume 24, Issues 16–17: 1781-1796.

Fleming B.W. (2000). A revised textural classification of gravel-free muddy sediments on the basis of ternary diagrams. *Continental Shelf Research*, vol. 20, issue 10-11: 1125-1137.

Friedman G.M. (1961). Distinction between dune, beach and river sands from their textural characteristics. *Journal of sedimentary Petrology*, 31: 514-529.

Guerra J. (1861). *Estudos chorographicos, physicos e hydrographicos da Bacia do Rio Tejo comprehendida no Reino de Portugal*. Imprensa Nacional, Lisboa.

Henriques R. (1998). *Propostas metodológicas para a monitorização das zonas costeiras. Aspectos sedimentológicos*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, Universidade de Engenharia do Porto, p. 185

Henriques R. (2003). *SEDMAC/SEDPC: programa informático de apoio à análise dimensional de populações detríticas*. Ciências da Terra – Volume Especial, VI Congresso Nacional de Geologia, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, p. 40.

Henriques R. (2004). *SEDMAC/SEDPC: An application to support particle size analysis of unconsolidated sediments*. 32nd International Geological Congress (Florence, Italy). Abstract book: 726.

Hydrotech Analysis System (1997). *Science Technology Associates*, Hydrotec Copyright, S.T.A., USA.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – L.N.E.C. (1990) – As cheias em Portugal. Caracterização das zonas de risco. *1.º Relatório: Análise Preliminar*. Min. Obras Pub., Transp., Comun., Lab. Nac. Eng. Civil, Lisboa.

Laboratório Nacional de Engenharia Civil – L.N.E.C. (1992) – As cheias em Portugal. Caracterização das zonas de risco. *4.º Relatório: Bacia Hidrográfica do Rio Tejo*. Min. Obras Pub., Transp., Comun., Lab. Nac. Eng. Civil, Lisboa.

Mateus J.E., Queiroz P.F. (1993). Os estudos de vegetação quaternária em Portugal. Contextos, balanço de resultados, perspectivas. In *O Quaternário em Portugal*. Lisboa, Colibri, pp. 105-131.

Matos A.T. (1980). *Transportes e comunicações em Portugal, Açores e Madeira: 1750-1850*. Ponta Delgada, Universidade dos Açores, 2 vol: II.

Mendonça J. (1990). *Sistema Aquífero aluvionar do Vale do Tejo (V.N. da Barquinha a Alverca: características e funcionamento hidráulico)*. Tese de doutoramento em Ciências (Geologia da Engenharia - Geologia Aplicada), Fac. de Ciências da Univ. de Coimbra.

Mendonça J., Cabral J. (2003). Identificação de falhas na Bacia Cenozóica do Tejo através de técnicas de investigação hidrogeológica. *Comun. Inst. Geol. e Mineiro*, t. 90, pp. 91-102.

Mozzi P, Azevedo M, Nunes E, Raposo L (2000). Middle Terrace Deposits of the Tagus River in Alpiarça, Portugal, in Relation to Early Human Occupation. *Quaternary Research*, 54(3): 359-371.

Nicosia C., Azevedo M.T., Favaretto S., Miola A., Mozzi P., Nunes E., Sostizzo I. (2011). Micromorphology and mineralogy of the SEV core (Santarém, Portugal): evolution from a transitional to a continental sedimentary environment during the Holocene. In Van Leusen M., Pizzio G., Sarti L. (eds.), *Hidden Landscapes of Mediterranean Europe. Cultural and methodological biases in pre- and protohistoric landscape studies*. Proceedings of the international meeting. Siena, Italy, May 25-27, 2007. BAR International Series 2320, Archaeopress, Oxford, pp. 215-219.

Nunes E.M.V. (2001). *Estudo multidisciplinar da variabilidade temporal e espacial do Tejo na região de Santarém*. Lisboa [s.n.], XIII, 209p.. Tese de mestrado, Geologia Dinâmica, Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências. ULFC101586

Perrier R., Quiblier J. (1974). Thickness changes in sedimentary layers during compaction history: methods for quantitative evaluation. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 58(3), pp.507–520.

Ramos C., Reis E., Ramos-Pereira A., Azevêdo T.M., Nunes E., Freitas M.C., Andrade C. (2002). Late Holocene evolution of the Lower Tagus alluvial plain and heavy metals content: preliminary results. In: Garcia-Ruiz JM, Jones JAA, Arnaéz J (eds), *Environmental change and water sustainability*. Instituto Pirenaico de Ecología, Zaragoza, pp. 167–182.

Ramos C., Ramos-Pereira A., Azevêdo M.T., Nunes E. (2006). Dinâmica fluvial: as mudanças de traçado do Tejo na sua planície aluvial. *Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Vol. 3, APGeom, Lisboa, pp. 41-48.

Ramos C., Ramos-Pereira A., Azevêdo M.T., Nunes E., Freitas M.C., Andrade C., Mozzi P., Favaretto S. (2007). Paleoambiente no Médio Tejo desde o Último Máximo Glaciário. Em *Dinâmicas Geomorfológicas. Metodologias. Aplicação. Associação Portuguesa de Geomorfólogos* - APGeom, Vol. 5, Funchal, pp. 191-199.

Ramos-Pereira A., Ramos C., Reis E., Azevedo T.M., Nunes E., Freitas M.C., Andrade C (2002) – A dinâmica da planície aluvial do Baixo Tejo no Holocénico recente: aplicação de métodos de análise geomorfológica e sedimentológica. Em *Contribuições para a Dinâmica Geomorfológica. Associação Portuguesa de Geomorfólogos* - APGeom, Vol. I, p. 67-76.

Ramos-Pereira A, Ramos C, Azevêdo T M, Nunes E, Freitas C, Andrade C, Pereira D (2006). *Geomorphological Assesment of the Middle Tagus Alluvial Plain. Tagus Floods '06 Workshop*. Lisboa, pp. 79-81.

Ramos-Pereira A, Ramos C, Azevêdo M T, Nunes E (2008). Middle Tagus alluvial plain evolution since the last glacial (Portugal). (Inédito).⁴

Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Bertrand C.J.H., Weyhenmeyer C.E. (2004). Intcal04 Terrestrial Radiocarbon Age Calibration, 0–26 Cal Kyr BP. (2004). *Radiocarbon*, 46(3): 1029-1058.

Azevedo A.R.d' (1926). Benavente. *Estudo Histórico-Descritivo*. Pub. Lisboa, p. 296

Rosgen D.L., Silvey H.L. (1996). *Applied River Morphology*. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado.

Smith D.G., Putnam P.E. (1980). Anastomosed river deposits: modern and ancient examples in Alberta, Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 17, 10: 1396-1406.

van der Knaap W.O., van Leeuwen J.F.N. (1995). Holocene vegetation succession and degradation as responses to climatic change and human activity in the Serra de Estrela, Portugal. *Review of Palaeobotany and Palynology*, Volume 89, Issues 3–4: 153-211.

⁴ Este artigo ficou concluído em 2008, mas por razões várias não chegou a ser divulgado.